

教養デザイン研究論集

第9号 2016.2

日本における「蓄電社会」の構築に向けて ——蓄電池の可能性と展望——

The Way to Establish the “Electricity Storage Society in Japan” : Consideration of Capability and Outlook of Secondary Batteries

博士後期課程 教養デザイン専攻 2014年入学

丹 治 博 司

TANJI Hiroshi

【論文要旨】

資源小国の日本においては、エネルギー資源の多様化の手段のひとつとして「蓄電社会」の構築が有望である。そのためには、蓄電池を使用することによって得られる、エネルギー消費の時間的及び空間的な自由度を電力分野と輸送・移動分野で有効に活用することが鍵となる。

本検討において、いずれの分野においても、2015年時点では、経済性のみで普及を図るのは難しく、技術面、社会政策面での総合的な施策が必要となることが明らかとなった。具体的には、両分野の共通課題として、電池の性能（エネルギー密度）の向上とコスト低減があり、一層の技術的な進歩が必要である。加えて、従来の経済原理に基づく発想だけでなく、人々の意識の変革も含めた、社会の仕組みや行動様式を変えていくことが必要であり、それによって蓄電池の社会インフラとしての使用が可能になると結論された。

また、大型電池、特に大型リチウムイオン電池（Lithium Ion Battery：以下 LIB）が大量に消費されるようになると、電池の劣化状態を正確に診断し、安全性を確認するための電池評価が必要となることが予測される。一方、蓄電池を循環型社会の中で使いこなして行くには、電池のリユース・リサイクルシステムを構築して、グローバルに循環使用していくことが重要である。

【キーワード】「蓄電社会」、蓄電池、電力貯蔵、電動車両、循環型社会

1 はじめに

本論文は、日本における、今後の「蓄電社会」の形成の可能性、及び「蓄電社会」を実現するうえでの課題と要件について明らかにすることを目的としている。

地球規模の課題として、エネルギーの大量消費や環境への負荷の増大は無制限には許容されなくなってきている。そのような状況の中で、エネルギー資源小国⁽¹⁾である日本にとっては、生産から供給、消費、そして回収に至るまでのエネルギーシステムを長期的に持続可能なものとして構築していくことはエネルギー政策の重要課題の一つである。

本論文における「蓄電社会」とはエネルギー貯蔵用の装置である蓄電池を社会のエネルギーインフラの一要素として活用する社会である。「蓄電社会」においては、エネルギーを電力の形で貯蔵することによって分散型電源や「地産池消」のエネルギーシステムの実用化が容易となるため、太陽光や風力などの再生可能エネルギーが効果的に使いこなせるようになる。

上述の課題に対する方策の一つとして、これまでの「エネルギーを創る」という発想だけでなく、蓄電池を利用して「エネルギーを貯めて使う」という発想も加えていくと、持続可能なエネルギーシステムの実現の可能性にも現実味が増す。

蓄電池は、現在、モバイルパソコン（以下モバイル PC）や携帯電話などのモバイル機器用電源として多用されている。しかし、近年、これらの用途に加えて、大型機器向けの用途が大きく二つできつつある。一つは電力分野である。東京電力福島第一発電所の事故を契機に、太陽光発電や、風力発電などの再生可能エネルギーの活用をこれまで以上に積極的に推進していくことが社会的にも広く議論されている。しかし、これらの電源は、日照や風況などの周囲の条件によって出力が変動するといういわゆる時間依存性や空間依存性の問題を抱えている。それらを解決するためには、出力の安定化や平準化などによって電力の需給管理を行うことが有効であり、そのために電力を貯めておく蓄電機能が必要となる。また、東日本大震災を契機として、災害時などの非常用の電源や無停電電源（Uninterruptible Power Supply：以下 UPS）として、ある程度の時間の電力供給を維持するための蓄電池も注目され始めている。

もう一つは、輸送用エネルギーの分野である。自動車の駆動用の動力（以下パワートレイン）をガソリンや軽油などの化石燃料を用いる内燃機関（以下エンジン）から蓄電池の電気で駆動するモーターに変えた電気自動車⁽²⁾（Electric Vehicle：以下 EV）や、モーターとエンジンを併用するハイブリッド自動車（Hybrid Electric Vehicle：以下 HEV）などが CO₂ 排出量の低減の方策として注目されつつある。

上記の二つの用途は、いずれも大型の蓄電池を必要とし、エネルギー量のベースとなる電池の容量は、従来の携帯電子機器用の電池と比較して非常に大きくなる⁽³⁾。そして、蓄電池がこれらの大型用途で本格的に普及すれば、その市場規模は格段に拡大することが見込まれるが、このことはとりもなおさず、規模の経済が働くことで価格ダウンにつながり、「蓄電社会」の形成にとっては望

ましいことでもある。

しかし、その反面で、高容量の大型電池の大量生産・消費に際しては、安全性の問題や電池の原材料や製品の廃棄や回収の問題が発生するため、こうした社会的な課題の克服が非常に重要になる。

そこで本論文では、蓄電池を二つの用途で日本において活用する方策と課題を提示することを目的とする。ここで日本に限定するのは、二つの用途での蓄電池の開発が最も進んでおり、実現の可能性が高いモデルとなることによる。

本論文では、まず、第1章で「蓄電社会」の像と、想定される枠組みや構成要素について論じる。次に、第2章で「蓄電社会」の主要な構成要素である蓄電池について、その原理、歴史、製造方法や用途などの観点からみた特徴を示す。そして、第3章で「蓄電社会」の形成に向けたこれまでの動きを論じたあと第4章で蓄電池の性能・コスト及び安全性対策上の課題とリユース、リサイクルなどの資源循環型社会への移行に向けた課題を明らかにする。

第1章 「蓄電社会」におけるエネルギーインフラへの蓄電池の展開

1 「蓄電社会」とは

本論文において「蓄電社会」とは、「蓄電システム」⁽⁴⁾が社会的共通資本⁽⁵⁾の一つの構成要素となる社会として定義する。具体的には、「蓄電システム」という技術的な手段がエネルギーや交通などの社会的インフラストラクチャーに組み込まれて、エネルギーの生産・供給・運搬・消費の流れの中で一定の役割を果たす社会である。どのような「技術」であれ、それが有用なものとして社会に受け入れられるまでには、さまざまな条件を満たす必要がある。エネルギー技術は、社会の基盤となる要素であり、社会のあり方や、我々の生活と極めて密接に関係する。したがって、その選択に際しては、単なる技術、経済の観点だけでなく、社会的な観点や、制度としての妥当性の観点からの評価も必要となる。

「蓄電社会」の概念については必ずしも定説がない。たとえば経済産業省が発表した「蓄電池戦略」では主に産業政策の観点から日本の蓄電池戦略をどう進めていくべきかについて述べられている[蓄電池戦略 2012]。また、日経エコロジーには「遅れて来た節電の切り札―蓄電社会の幕開け」と題した特集記事が掲載され、蓄電池が新たな「産業のコメ」として社会に浸透し始めたことや、産業の中核になりつつあることが述べられている[日経エコロジー 2014]。

しかし、これらでは「産業政策」の観点や「利便性」、「節電対策」の点からの議論にとどまっており、それによって実現される社会の具体像については必ずしも明確ではない。

本論文では、上記二つの先行事例の考え方に加えて、エネルギーとしての電気を貯めるということについて、さらに踏み込み、社会的な仕組みとしての「蓄電社会」の必要性を論じる。つまり、「蓄電社会」について、エネルギーを使うという観点からだけでなく、エネルギーを供給するという側面の重要性に焦点をあてると同時に、使用した後についても製品・装置の廃棄を含めて、資源の循環性も考えながら、常にクリーンで低炭素の社会を維持していくこと、つまり、蓄電池を中心

とした循環型社会について考察する。

表 1 に、空間的な自由度と時間的な自由度に応じた蓄電池の用途分類を整理した。大型と小型の電池の二つのタイプについて、主な用途を示している。大型電池では、時間的な自由度を活用して電力貯蔵や非常用電源の用途などへの展開が、空間的な自由度を活用して移動・輸送の用途などへの展開が可能となる。

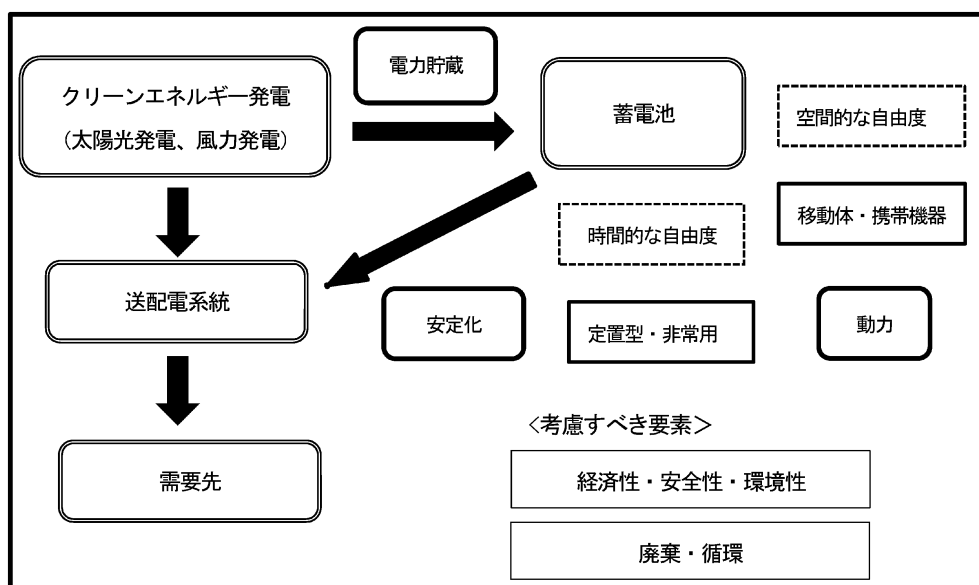
図 1 は蓄電社会の概念図である。図において矢印は電気の供給の方向を示している。クリーンエネルギー^⑥発電によって創られた電気は、送配電システムを介して家庭や工場などの需要先に供給される。同時に余剰分が蓄電池に貯蔵される（電力貯蔵）。そして蓄えられた電力は、一つは時間的な自由度を利用して定置型、非常用電源に用いられ、電力システムの安定化に貢献する。また、もう一方では空間的な自由度を利用して移動体、携帯機器用の動力電源に用いられる。そして蓄電池を含む全体の系は経済性、安全性、環境性を満たしつつ、全体として循環型社会を形成する。

表 1 「蓄電池」の用途分類

電池のタイプと容量	空間的な自由度を重視	時間的な自由度を重視
大型（5～100 kWh）	移動体動力	電力貯蔵（出力平準化）
	移動電源	非常用電源
小型（0.1～5 kWh）	携帯情報通信端末（PC、電話）	懐中電灯
	ポータブル家電機器	

出所 筆者作成

図 1 「蓄電社会」の概念図



出所 筆者作成

2 電気を貯めるということの有用性

日本は資源小国にも関わらず、世界で5番目のエネルギー多消費国⁽⁷⁾である。また、今後の世界全体で考えると、新興国を中心としたエネルギー消費の増大に伴う需給の逼迫が予想されている。国際エネルギー機関（International Energy Agency：以下 IEA）などによれば2035年の世界の一次エネルギー需要は2013年の約1.3倍に増加し、かつ、その増加分の90%が中国・インドなどの非・経済協力開発機構（Organization for Economic Co-operation and Development：以下 OECD）諸国の需要によるとされている⁽⁸⁾。

そのような世界のエネルギー環境のもと、日本においては、多様なエネルギー源を合理的にかつバランスよく使いこなしていくことがエネルギー戦略、特に、エネルギー安全保障も含めた基本戦略の一つになっている。[エネルギー基本計画（平成24年6月）]

さらに、今や世界的な課題ともなった地球温暖化問題などの環境対策の観点からは、エネルギー選択に際しては、クリーンエネルギーの使用を拡大していく方向を考える必要がある。その対策のひとつとして、エネルギーの製造、供給の面では再生可能エネルギー電力の利用や分散型電力の使用が、またエネルギー消費の面ではEVや燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle：以下 FCV）などのクリーンエネルギー自動車の使用が提案されている。しかし、これら二つの方向についても、多くの課題がある。

まず、再生可能エネルギーの利用については、三つの問題点がある。太陽光発電や風力発電は、自然のエネルギーを利用するのでエネルギーの密度に時間的及び空間的な分布があり、その結果として電圧や周波数などの出力の安定性に欠ける。また、全般的に低エネルギー密度であり発電の空間効率や時間効率が低い。経済性の点では、発電設備の規模が比較的小さく設備当たりの設置のコストや設置工事期間が比較的短い点ではよいが、単位電力あたりの発電コストが既存の電力に比べて高い等の課題が存在する。

こうした再生可能エネルギーの問題点の解決には、「あまった時に電気を貯めて需要や使用状況に応じて消費する」蓄電池の機能を活用することによって電気の需給バランスをとりつつ全体の発・送・配電系統の安定化を図ることが有効である。つまり、エネルギーの「時間的」な自由度を高めることが対策となる。

一方、クリーンエネルギー自動車については、1970年代から様々な方式が開発されてきた。これらはいずれも化石燃料の使用を削減することによってCO₂の排出や燃料消費を削減しようとするものであるが、一般のガソリン車に比べて車両価格が高いという欠点があり、またEVやFCVについては燃料補給インフラが未整備であるという問題がある。その他、EVについては、走行距離が短いなどの課題もあって市場の拡大はメーカーの当初の計画に比べて遅れ気味である⁽⁹⁾。

これらの問題もその対策を突き詰めていくと「いかに高密度のエネルギーを使いやすい状態で、安価にためておくか」という蓄電池の性能とコストの問題に帰着する。これは、言い換えれば、エネルギーの「空間的」な自由度をいかに効率的に実現するかという命題である。

「蓄電」(エネルギーを電気の形で貯める)という概念は、我々の社会にエネルギーの「時間」と「空間」の自由度をもたらす。この二つの自由度十分に活用すると同時に、環境負荷の低減や安全性、及び経済性において合理性と妥当性を実現した一つの社会として「蓄電社会」が存在する。この「蓄電社会」は、今後、「電力」と「輸送・移動」の二つのエネルギーの分野において実現していくと考えられる。

第2章 蓄電池の特性

1 エネルギーを貯める蓄電池とは

電力貯蔵のシステムに関しては、大きくは化学エネルギーを利用した電力貯蔵システムと力学的エネルギーを利用した貯蔵システムの二つに分けられる。前者の代表的な例が蓄電池である。後者の例としては揚水発電や圧縮空気貯蔵(Compressed Air Energy Storage : CAES)がある。

電池は、化学物質の持つ化学エネルギーや太陽光などの物理エネルギーなどを電気化学反応や光電効果によって電気に変換する装置である。①エネルギー変換の原理、②基本的機能や使用方法、③形状・寸法などによって分類されるが、その中で、蓄えた電気を放電して使い終わったら、再度電源に接続して充電し、繰り返して使用が出来る電池のことを蓄電池という。二次電池あるいは充電池とも呼ばれている⁽ⁱ⁾。

2 蓄電池の技術・産業の歴史

蓄電池の歴史は、①電池の原理の発見・発明と実用化(18世紀後半～20世紀前半)、②モータリゼーションに伴う鉛蓄電池の普及(第二次世界大戦後～1980年代)、③携帯電子情報機器の普及に伴う高性能小型蓄電池の発展(1990年以降)、④車載用及び電力貯蔵用への大型・大容量蓄電池の展開(2010年以降)の大きくは四つの段階に分けられる。ここでは、今後の「蓄電社会」における電池の使い方に関係する③、④について述べる

電子情報機器の急速な発展に伴い高性能小型蓄電池が登場したのは1990年代からのことである。小型蓄電池の中ではニカド電池がもっとも早い時期(1899年)に発明されたが、材料が高価なため本格的な生産は遅れた。1950年代に、小型化・密閉化が可能となり、乾電池と同じように扱える形になって、携帯機器電源としての市場が拡がり、1960年代に量産が開始された。ニカド電池以降、しばらくは、新電池は出現しなかったが、1990年代になって、ニッケル水素電池(以下 NiMH 電池)、リチウムイオン電池(Lithium Ion Battery : 以下 LIB)などの高性能小型蓄電池が日本メーカーによって相次いで工業化された。1990年にソニーが事業化した LIB は、ハンディービデオカメラやノート PC 用として搭載され、さらには、1995年頃からのインターネットの普及で、携帯電話やノート PC などのモバイル端末向けの市場が急速に拡大した。

大型の大容量電池が車載用及び電力貯蔵用に展開されたのは2010年以降である。2009年から2010年にかけて、主要自動車メーカーが相次いで EV の量産を開始し⁽ⁱⁱ⁾、一方で量産開始⁽ⁱⁱⁱ⁾から10

年を経た HEV が本格的に普及し始める⁽⁴³⁾など、車載用電池としての用途が新たに拡大し始めた。

また、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの利用拡大に伴い、これらの電力の出力の安定化や平準化のための電力貯蔵用電池や携帯電話基地局やデータセンタの UPS などへの定置型蓄電池の展開が期待されている。

3 蓄電池の特徴

蓄電池の特徴として、製品形態の多様性、構成材料と製造プロセスの多様性があげられる。

蓄電池はそれだけが単独で使用されることはなく、電気を使う用途機器の電源として使用される。また、使用に際しては、電気の供給源（充電時）や電気の制御系（放電時）との組み合わせやシステム化についての考慮も必要である。

ユーザーが使用する際の電池の製品形態としては、①電池の最少ユニットであるセル、②1本から複数本のセルに制御部品を取り付けた電池パック、③複数の電池パックを接続し、全体の制御回路を取り付けたモジュール、④蓄電池モジュールとその他の電子部品や機器を組合せたシステムの四つの態様があり、製品の種類としても、電池セル1本からなる小型電池から複数のモジュールで構成され、何千本ものセルからなる大型の電池システムまで多様なタイプが存在する。

構成材料や製造プロセスの多様性については、LIB を例にとって述べる。LIB は、正極と負極それぞれの活物質⁽⁴⁴⁾を集電体金属箔⁽⁴⁵⁾に塗工した二枚の極板シートの間にセパレータ⁽⁴⁶⁾を挟んで巻回した構造体（ジェリーロール）、外装容器⁽⁴⁷⁾に入れ、そこに電解液を注入したのち付属部品を取り付けて作られる。電池では正負の両電極の酸化還元反応で発生したイオンが電解質を介して両極間を移動して電流が流れる。セパレータは正極と負極の隔離する一方で電解液の存在する空間を形成する。正極、負極の二つの電極、電解液、セパレータからなる基本的な構成は、ボルタの電池が発明されたころと変わらず、またすべての電池に共通である。他の電子製品や電子部品の発展過程において、原理や構成に大きな変化があったのとは異なる⁽⁴⁸⁾。これは、電池の基本原理が酸化還元反応という化学的でアナログな事象をベースとしており、また、電池の性能が先に述べた、四つの主要部材の組み合わせによる、すり合わせ型の設計によって達成されることなどが影響している。

これまで、蓄電池は、自動車用電源（鉛蓄電池）や小型・携帯機器の駆動電源（小型蓄電池）などに使用されながら、その用途と市場規模を拡大してきた。

蓄電池の技術の開発の歴史においては、いかに多くのエネルギーを充放電できるかが、常に重要課題となってきた。例えば、携帯情報機器用電源としての LIB の発展は目覚しいが、これは、他の小型蓄電池に比べて高電圧、高エネルギー密度が可能となり、機器側の消費エネルギーの増大に対応できたことが大きい。ニカド電池が登場した1970年代からの30年間で、電池の容量は10倍近く向上した。特に90年代の LIB の登場によって、電池の容量は飛躍的に向上し、用途機器の高性能化や高機能化に大きく貢献した⁽⁴⁹⁾。また、電池の性能とコストの向上により、定置型電池や車載用電池などの実用化が可能となった。

2011年度時点での世界の蓄電池市場（金額ベース）は約4.8兆円である。金額的には半導体（約30兆円）や表示材料（約10兆円）などの他の電子デバイスに比べて小さい^{④)}。

市場規模を電池の種類別にみると、鉛蓄電池（3.4兆円）、LIB（1.2兆円）であるが、ここ十年では、LIB 市場の伸びが著しい。LIB は、上市されて以来、ハンディービデオカメラ、ノート PC、携帯電話などの携帯用電子機器の市場で急速に市場を拡大してきた。当初はハンディービデオカメラ用が主であったが、ノート PC のメモリー容量の増加や周波数アップに伴い、機器の消費電力が増加して、高容量の電池が必要となり、それまで使われていた NiMH 電池からの代替が急速に進んだ。また、携帯電話用としても、角型電池、ラミネート型電池が急速に量を伸ばし、特に2000年以降は世界的に携帯電話とインターネットが普及したため、電池の生産も世界各地に拡大した。さらには、近年はスマートフォンやタブレット PC の普及もあって、小型蓄電池用途でも依然として10%/年前後の伸びを維持している^{⑤)}。

なお、LIB 以外の蓄電池では、大型 NiMH 電池が、パワー密度が高いという特徴を生かして HEV 用の電源として用いられている他、電車の電源および固定型電池としての用途展開も検討されている。

4 蓄電池による電力貯蔵とエネルギーインフラへの応用

電力貯蔵用電池としては、古くは鉛蓄電池、そして1990年代から開発されたナトリウム硫黄電池（以下 NaS 電池）やレドックスフロー（Redox Flow）電池（以下 RF 電池）、小型蓄電池として実用化された NiMH 電池や LIB の大型電池への応用などがある。

電力貯蔵技術として蓄電池を見た場合、その特徴は、コンパクトで立地に際してスペースをあまりとらずにすむこと、負荷変動に対する応答性が優れていること、そして、信頼性に優れていることにある。一方、課題としてはコストが高い^{⑥)}ことがあげられ、発電単価を下げるために電池の高容量化、高出力化に向けた開発やコストダウン技術の開発が積極的に進められている。

エネルギーを使用する用途分野の中でも「蓄電」による時間と空間のフレキシビリティが社会的に有用となる電力分野と輸送・移動の分野の二つが、今後の「蓄電社会」形成の核になることはすでに述べた。さらに、これに加えて、新しい蓄電池の用途分野として、ロボットやドローンなどのこれまで人力に頼らざるをえなかった作業を人間の代わりに実施する移動体が考えられる。考える、観る、調べる、持ち運びする機械の動力用の電源である。これらの分野は、いずれも、社会インフラの重要な構成要素になると考えられ、こうした分野で蓄電池が多量に用いられる社会がまさに「蓄電社会」となる。

第3章 「蓄電社会」を目指したこれまでの試み

1 日本における蓄電池の応用分野拡大へのこれまでの動き

1-1 電力分野

1970年代の二度の石油危機の経験を経て、日米欧を中心に、各国政府の支援下で自動車用電池と電力貯蔵用電池の開発が活発化した。日本では、まず電気自動車用の開発が先行したが、旧通商産業省工業技術院（現在の産業技術総合研究所）が1980年代に進めた「ムーンライト計画」の下で電力貯蔵用電池開発が政府主導プロジェクトとして取り上げられた。NaS 電池、RF 電池、亜鉛塩素電池、亜鉛臭素電池の、4 つが取り上げられ、このうち NaS 電池と亜鉛臭素電池が1000 kW 級プラントでの実証実験を行ったが、経済性、耐久性、安全性に課題が残り、実用化には時間がかかるとの結論になった²³⁾。その後、新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下 NEDO）の「分散型電池電力貯蔵技術開発プロジェクト」において、電力貯蔵用の定置型電池への LIB の応用の研究が進められた²⁴⁾。その評価報告（2007年度）²⁵⁾では、開発の停滞要因を技術的、マーケット的、社会的政策の三つの視点から分析し、産業用としては容量不足と高コスト²⁶⁾、家庭用蓄電池ではエネルギー機器としての付加価値の不足²⁷⁾のために蓄電池の導入メリットは低いとされた。

1-2 輸送・移動分野

日本で、EV 普及を目的とした計画が初めて策定されたのは1977年の「電気自動車普及基本計画（第一次）」（経済産業省：当時は通商産業省）である。それ以来、経済産業省、国土交通省（当時は運輸省）、環境省（当時は環境庁）等が EV に代表される低公害車やクリーンエネルギー車に関する開発や普及の政策を実施してきた。この経緯は、加治木・西尾の研究〔加治木，西尾 2008〕や土屋・田頭他の研究〔土屋・田頭他 2010〕に詳しいが、それらをまとめると以下の表 2 のようになる。また、2011年度末（2012年 3 月）時点での電動車両の国内の保有台数と販売台数を表 3 に示す。これらからは、以下のことが言える。

EV に関しては、時代により背景は異なるが、積極的な導入目標のもとに、さまざまな政策的な支援が行われてきた。支援の内容についても、技術開発支援のみでなく、公用車への率先導入、金銭的インセンティブ（税制、補助金、各種料金）、利用環境整備（充電インフラ）、モデル事業（カーシェアリング、レンタカー、EV・PHV タウン構想など）多岐にわたった。この間、電池については、鉛蓄電池から NiMH 電池、さらには LIB と性能は高まり、その結果として EV の市販までこぎつけることができた。しかし、結果的には、当初に目論んだ大規模な普及は達成できなかった。

これに対して HEV に関しては、一部に金銭的なインセンティブはあったが、利用環境整備その他の政策的支援はなかったにも関わらず、市販後、順調に販売台数を伸ばし、2011年度には年間の全自動車販売台数の15%までその比率を高めた。

上記の差異の理由としては、EV は一充電あたりの走行距離や充電時間の点で従来車並みのパフ

表2 日本における電気自動車普及政策の変遷

時 期	第 一 期	第 二 期	第 三 期
	1970年代～1990年代前半	1990年代後半～2000年代前半	2000年代後半以降
背 景	大気汚染対策，石油代替	ZEV 法 ⁽²⁸⁾ ，地球温暖化対策	低炭素社会，産業競争力の強化
普及目標	EV：20万台（2000年度）	EV：100万台（2010年度）	EV：200万台（2020年度）
国内保有台数	EV：約2,500台（1995年）	EV：約1万台（2005年）	EV：2万2千台（2011年） HEV：203万台（2011年）
政 策	「電気自動車普及基本計画（1～3次）」【通商産業省】（1977, 1983, 1991） 「低公害車普及構想」【環境庁】（1988）	「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」【経済産業省】（1997） 「低公害車開発・普及アクションプラン」【経済産業省，国土交通省，環境省】（2001）	「次世代自動車・燃料イニシヤティブ」【経済産業省】（2007） 「次世代自動車普及戦略」【環境省】（2009）
	率先導入（公用）・先駆的導入（民間） 導入促進（財政的支援） 利用促進（各種料金優遇） 利用環境整備（充電・整備拠点）	同左＋下記 モデル事業（カーシェアリング，レンタカー）	同左＋下記 「EV・PHV タウン構想」 ⁽²⁹⁾
業界の動き	EVの開発・試作	EVの開発・試験販売， HEVの市販	EVの市販，FCVの市販 ⁽³⁰⁾ HEVの普及
電 池	鉛蓄電池（開放型）	NiMH(EV)，NiMH(HEV)	NiMH(HEV)，LIB(EV, PHV)
電池の問題点	エネルギー密度，コスト，安全性，操作性，寿命	エネルギー密度，コスト	エネルギー密度，コスト，充電時間

出所：参考文献（[加治木，西尾2008]，[土屋，田頭他2010]）及び次世代自動車振興センター統計をもとに筆者作成

表3 日本国内のHEV，EV，PHVの保有台数，販売台数（2011年）

	HEV	PHEV	EV	全自動車
保有台数（％）	203万台（2.5％）	4千百台（0％）	2万2千台（0％）	8070万台（100％）
販売台数（％）	64万台（15％）	1万4千台（0.3％）	3千7百台（0.1％）	420万台（100％）

出所：2009年度～2011年度次世代自動車振興センター統計より筆者作成

パフォーマンスに達しておらず，価格もまだ割高であるのに対し，HEVは，従来車に比べて，価格はやや割高ではあるが，燃費は安く，また，その他の点，特に利便性（燃料補給や走行距離）や性能の点で従来車と同じ感覚で扱えるということがあげられる。

2 これからの蓄電池の使用方法

2-1 電力分野

これからの蓄電池の使用方法として，まず電力用途での蓄電池の使用方法について考えてみる。電力系統の運用面においては，電力貯蔵用の電池に対して発電事業者（供給サイド）から消費者

(需要サイド)まで様々な使用方法がある。具体例としては、①系統安定化(系統電力量平準化)、②電力の自家消費比率アップ、③夜間電力有効利用、④災害時の非常用電源などが考えられ⁽⁶⁾、それぞれの使い方や、設置の場所に依じて必要とされる電池の容量も異なってくる。また、電力貯蔵用蓄電池の利用方法として以下の四つの段階が考えられる。

①系統用

大規模な太陽光発電所(メガソーラー)や風力発電所の付近あるいは変電所付近に設置される。メガソーラーからの不安定な電源を安定化して利用するために系統用蓄電池を使う場合や、余剰電力を有効利用するために蓄電するケースである。電池の容量としては数 MWh から数十 MWh の範囲が要求される。

②産業用

商工業地域および大規模集合住宅街で工場、商業施設ビル、大規模集合住宅などに設置される産業用蓄電池である。太陽電池が普及した時の余剰電力蓄電や系統安定化用や、電力のピークシフト用に利用される。電池の容量は上記と同じ範囲の数 MWh から数十 MWh の範囲が要求される。

③中規模グリッド用

商工業地域および市街地のコミュニティ単位で設置される中規模グリッド用蓄電池である。各家庭や施設で昼間発電された余剰電力の蓄電や、系統安定化をコミュニティ単位で行ったり、各家庭、施設の電力需給を踏まえてコミュニティ単位での電力ピークシフト用として使われる。大規模施設に併設されるケースもある。電池の容量は数百 kWh から数十 MWh である。

④家庭用

非密集型市街地の各家庭に設置され、各家庭で昼間に発電された余剰電力の蓄電、及び系統安定化の目的で利用、各家庭の夜間の系統電力を蓄電し、昼間に利用する家庭用蓄電池。EV や PHV との電力のやりとりも行う。容量は約 10 kWh である。また、上記の他に、需要家サイドに設置した負荷平準化機器は需要家に至るまでの送電線の過負荷緩和に寄与する。

夜間にケーブルや配電線の設備利用率を高め、昼間の過負荷を解消できるので、地域供給系統や配電系統の増設工事を回避できるという効果もある。

2-2 輸送分野

次に、輸送分野での蓄電池の利用について考えてみよう。19世紀末の自動車が登場した時点では、電気自動車の方が先行していた。また、日本においては、ガソリン不足(1940年代)、大気汚染(1960年代)、石油危機(1970年代)などで電気自動車の開発機運が高まったが、いずれの場合も本格的な実用化には至らなかった。1977年からは政策面からの後押しも開始されたが、本格的な事業化には至らなかった。近年、世界の自動車保有台数は9億台近くまでに増え、排気ガスやCO₂の排出が問題化する一方で、化石燃料の枯渇懸念や原油価格の高騰というエネルギー問題にも直面している。自動車用の燃料についても、中長期的には、非化石燃料へのシフトが着実に進ん

でいくし、パワートレインの多様化も必然と考えられる。そのような環境のもとで、電動車両（HEV, PEV, EV, FCV）の駆動用電源として蓄電池の役割は、確実に高まりつつある。

自動車におけるエネルギーのクリーン化についての考え方を整理する。大きくわけて、①自動車用燃料（一次エネルギーとその加工品）の面からと、②自動車の動力源（パワートレイン）の面からの二つのアプローチがある。蓄電池が関係する②のアプローチは、エンジン（燃料で駆動）の代わりにモーター（電気で駆動）で動力を得ようとするもので、その中で、電気のみで動くものとしてEVやFCVがある。これらは、自動車の心臓部をまるごと入れ替えるようなものであり、多大な設計・開発の努力が必要となる。両者の中間として考えられたのがHEVやPHVで、エンジンとモーターを併用し走行状態に応じて適宜使い分けて燃費を低減しながら、従来車なみの航続距離を維持しようとするものである。

このように電力貯蔵用（電力用途）と車載用（輸送用途）の二つの大型蓄電池市場が期待されている。いずれの分野も不確定要素があり、「蓄電社会」の立ち上がりには、時間を要するかもしれないが、低炭素化を目指す社会の動きの中で、市場拡大は確実に進んでいくであろう。

さらに、スマートグリッドやスマートシティなどのエネルギー管理システム（Energy Management System：以下EMS）の中での蓄電池システムの利用方法については、まだまだ検討する余地がある。また、開発中の自走ロボットや人工知能（Artificial Intelligence：以下AI）関連技術の進展によっては、これらの機器の駆動電源やデータセンタ用非常電源としての蓄電池の使用などが、新しい用途として、これまで以上に広がっていく可能性がある。

第4章 「蓄電社会」実現に向けた課題

これまでの章で、エネルギー消費の時間的な自由度と空間的な自由度を電力分野と輸送・移動分野で有効に活用することが「蓄電社会」構築の鍵となること、そのためには、貯蔵用と車載用の二つの分野でどのように電池の普及をはかるかが重要であることが明らかになった。ただ、これまでの蓄電池の適用の試みは、第3章で述べたように、社会のニーズに対して必ずしもそれを十分に満足するものでなく、特に現状では、経済性の観点だけでは、本格的な発展は難しいことも分かった。その後、電池の技術は格段に進歩してはいるが、それでも、技術的な課題、及び社会の意識の点でもハードルはまだまだ高い。本章では、上記の二つの分野において、今後解決していくべき課題とその解決の方向について論じる。蓄電池を循環社会で活用するには蓄電池の回収についても視野に入れなければならない。しかし、大型蓄電池の廃棄や回収については、現時点では事例も少なく不確定な要素が多いため、本論文では扱わない。

1 電力用途での課題

電力用途における蓄電池設置のメリットとして、系統用電力では、再生可能エネルギーの安定化があげられる。一方、産業用や家庭用では、まず、急な停電などの非常時の電力確保用などの使い

方があるが、そのほかに、経済的なメリットを追求する使い方の一つとして、夜間などの安価な電力を貯蔵しておいて、電力料金の高い昼間に使用することによって全体の電力料金を削減することが考えられる。例えば、6 kWh の蓄電池ユニット（30万円/kWh）を補助金60万円（購入コストの3分の1）の条件で購入設置し、電力料金の安い夜間電力（10.8円/kWh）を貯めて電気料金の高い昼間（25.4円/kWh）に使用する場合、一日当たり117円の電気代が安くなる。しかしながら、この金額で設備の購入費用を回収しようとするすると37.5年かかる計算になり、今の蓄電ユニットの価格では、経済的には成り立ちにくい。

そこで、電池にまず求められるのは、コストパフォーマンスの向上であり、次に信頼性と安全性の確保となるが、それに加えて、さまざまな社会実証の中で、蓄電池の使用に伴って新しい付加価値が見つかるかどうか今後の普及に向けての大きなポイントになる。

エネルギーは、需要主体が必要な時に必要な量の供給が受けられるのが望ましい。電力貯蔵はそれを実現するための有力な手段の一つである。負荷の平準化や非常用電源、電圧・周波数調整などの信頼性向上は電力貯蔵がもたらす基本的な付加価値と言えるが、それだけでは商品としての差別化ができないため、蓄電池に新しい付加価値を持たせる必要がある。そのための方策の一つとして、電力の供給を供給責任重視の考え方から、需要側主体の付加価値重視型の考え方にしていくことが重要である。例えば、分散型の電力需給システムの中に電力貯蔵を取り入れたスマートグリッドやスマートエネルギーシステムを構築する。そして、例えば産業用としては事業継続計画（Business Continuing Plan：以下BCP）対応の設備（非常時のエネルギー供給設備）として利用者間で共用したり、HEV, EV, PHV, FCVなどのモビリティも電源として組み合わせて相互にやり取りすることなどが考えられる。限定的な形であっても、このように、まずは使いやすいところあるいは、効果がありそうなところから実験的に使用することで上述の新規な有用性を実証していくことが重要である。

2 電動自動車用途の課題

車載用電池の市場拡大には電動自動車（EV, PHV, HV）の普及が不可欠となる。トヨタ自動車工業株式会社（以下トヨタ）が開発したHEVのプリウスの量産開始（1997年）から10数年が経った。性能改良や車種ラインアップの増加、エコカーブームに焦点を合わせた販売促進活動等が奏功し、最近ではHEVが新車販売ランキングの上位を占めるまでに至っている⁽⁸²⁾。

一方、純粋に電気だけで走行する電気自動車については、2009年の夏に三菱自動車工業（以下三菱）が軽自動車のiMiEVを、そして2010年の12月には日産自動車工業株式会社（以下日産）が普通自動車のリーフを販売、市販車レベルでの電気自動車の販売が始まった。しかし、EV市場の拡大の状況は、当初期待したよりは小さい⁽⁹⁾。

一方、加治木と西尾らによれば、HEVはトヨタの戦略量産車として開発され、既存車両と性能や取扱いや燃料インフラに差がないことと消費者の予想以上の購買意欲などによって内外の市場を

問わず順調に販売を伸ばしている。環境意識に訴えて導入コストの高さをカバーし、普及拡大に向けた量産効果を引き出しつつある〔加治木，西尾 2008〕。

現時点での電動車両の普及を推進する上での課題としては、EV については、①車両のコストダウン、②走行距離の延伸、③充電インフラ整備（充電設備の増設と高速充電技術開発）ということになる。また、EV の普及には、上記の三つの他に EV という従来の車とは異なるモビリティシステムに利用者を慣れさせていく必要がある。これまで、長い歴史の中で最適化されてきた化石燃料とエンジンのシステムを一朝一夕に替えて行くことは、そう容易なことではない。人々や社会の自動車の所有や移動に対する意識の変化も含めて、時間をかけ、かつ地域ごとの特性を生かし、カーシェアリングやカーレンタルなどの自動車の利用システムの活用も含めた交通システムトータルとしての様々な社会政策を組み合わせしていくことが重要である。

一方、蓄電池搭載車ではあるが、電池の容量が小さくてすむ HEV⁽⁶³⁾はすでに普及期に入っている。また、EV と HEV の中間的な容量の蓄電池を搭載する PHV も利便性次第では普及の可能性は EV よりも高い⁽⁶⁴⁾。EV にしても、全くのパーソナルユース（例えば 1～2 人乗り）のコミュニティーカーあるいは高級車のカテゴリーには限定的ながらも普及し始めている。さらには、2014 年に市販が始まった FCV にも蓄電池は搭載されており。これらの様々な電池搭載車を市場や顧客のニーズにあわせて社会導入していけば、市場も拡大していくと考えられる。

3 電池の課題と今後の方向

蓄電池の課題は、高容量化と低価格化そして安全性の向上につきる。これまでも、技術開発の面では、最適な材料設計や最適な界面制御の中で試行錯誤をしながら、いかにたくさんの電気を創り、そして貯めるかを追求して来た。

3-1 電池の高容量化

1975 年当時のニカド電池の体積エネルギー密度は 68 Wh/L であった。これが 1990 年には 120 Wh/L になった。その頃に発売され始めた LIB の体積エネルギー密度は 230 Wh/L であり、2005 年には、620 Wh/L になった。つまり、電池の容量は、1975 年から 1990 年までの 15 年で 1.8 倍、1990 年から 2005 年までの 15 年で約 5 倍向上したことになる〔資源エネルギー庁，2009〕。一方、NEDO の電池技術ロードマップでは電池のエネルギー密度を重量密度では 2020 年に 2012 年度の 3 から 5 倍にするというさらに意欲的な目標となっている〔NEDO 2013〕。

化学電池の設計・生産技術は、特にセル製造までは、基本的に化学をベースとしているため、アナログ的な要素があり、半導体、液晶、太陽電池などに比べると規格化や標準化を徹底しにくい側面がある。まさに、材料技術と電池設計のすり合わせが重要であり、電池メーカーそれぞれが、電池の諸性能の間のトレードオフを 4 つの主要構成材料の最適な組合せで解決し、それぞれの電池設計に最適な生産プロセスを構築する、いわばバランス型の設計思想で進められてきた⁽⁶⁵⁾。2020 年

あたりまでは、材料系の改良とこうした生産技術面でのさらなる改良を進め、その間に LIB に変わる新型電池の基盤技術を構築していくことになる。

3-2 電池のコストダウン

車載用の LIB の電力量 (Wh) あたりの単価はおよそ100円であり、仮に、15 kWh の電池を搭載したとすると EV 一台あたりの電池コストは約150万円と非常に高いものとなる。NEDO の蓄電池技術開発ロードマップでは、電池コストを2020年に車載用では2万円/kWh 以下、電力貯蔵用ではシステムで2.3万円/kWh を目標としている [NEDO 2013]。

車載電池のコストを試算してみる。電池パックのコストが約100円/Wh とすると、セル価格はその半分なので50円/Wh になる、セル価格の6割を材料コストが占めていると仮定すると、その他コストが10分の1 (生産性が約10倍以上) になったとしても、電池価格2万円/kWh を実現するためには材料コストを約3分の1にする必要がある。生産性10倍も、材料コスト3分の1もかなり挑戦的な目標であり、電池、あるいは電池システムの標準化等によって、一品種あたりの生産規模を大幅に拡大するなどの努力も必要である。

4 電池の安全性と二次利用

電力貯蔵用も、車載用も、蓄電池としては高エネルギー密度が可能な LIB が最有力の候補である。しかし、一方で LIB は電解液に有機溶剤を使用するので安全性の問題がある。2014年の初めにボーイング社の B787 に搭載された LIB システムで電池の発火トラブルが発生した。この原因の詳細はいまだに不詳である⁶⁹⁾。過去にもノート PC や携帯電話で電池が発火したり、EV の電池が発火や発熱したりするなど、蓄電池システムの発火リスクは LIB の本質的なリスク要因である。こうしたトラブルへの対策として、電池メーカーや関連団体では、製造工程における異物混入の防止や、安全性の高い材料の使用、安全弁や PTC サーミスタ⁶⁹⁾などの安全装置の使用、外部回路による過充電コントロール、安全性評価のための基準作成など様々な対策を打ってきた。

しかし、今後、電力貯蔵用や車載用の電池が大量に生産・使用され、世の中に普及が進むと上述した安全管理に加えて、サプライチェーン管理やネガティブフロー管理を含めた原材料から製品に至るまでのものの流れの監視と管理が重要になる。

また、車載用や定置用は、電池が大型で容量も高いため、セル、モジュール、ユニットそれぞれの段階での安全確認と管理がさらに重要になる。

一般社団法人日本自動車工業会の報告資料 (H25年度産構審・中央環境審議会合同会議資料 5-4) によると、NiMH 電池は各社の回収スキームで回収中であり、LIB は個社回収スキームで対応中である。2015年までは、補助金条件等が理由でほとんど発生せず⁶⁸⁾、大破、天災以外の事由では廃車になりにくいとのことである。そして、2015年以降、電池搭載車の廃車が徐々に発生し2020年以降は増加が見込まれるので2020年までに回収スキームの検証を行うとしている。LIB を搭載し

た HV, PHV や EV はまだ発売されて間もないので、回収される蓄電池や廃車も原則的には発生していない⁶⁹⁾。今後、LIB 搭載の HV や PHV、さらには EV の増加は確実であり、かつ、LIB は鉛蓄電池や NiMH 電池とは電池劣化のモードが異なるので、回収された電池の劣化の状態の判定には注意が必要となる。車両に搭載された LIB は、使用状況に応じて、電池容量や出力が低下する。

LIB は高価な自動車部品であり、たとえそれが自動車では使用不能であっても定置型などの用途では十分使用できる可能性もある。車載用電池を他の用途でリユースするビジネスモデルもすでに検討されており、いずれ LIB 搭載の廃車が多量に発生し始めた時には本格化の可能性もある。

リユースにもリサイクルも、それ自体の技術開発や社会研究に加えて、電池の劣化状態を正確に判定する評価技術が極めて重要になる。LIB を解体しないで非破壊の状態のまま正確に劣化診断することは非常に難しく、使用済み廃電池の取扱いについては、このような診断技術の開発も含めた取り組みが必要である。

結論

資源小国である日本では、エネルギー選択の多様性が重要であるとの認識のもとに、クリーンエネルギー社会に移行していくひとつの手段として、「蓄電池社会」の構築について論じた。

エネルギーの消費の時間的及び空間的な自由度が有効となる電力と運輸・移動の二つの用途を取り上げ、それらを中心に蓄電池の活用を広げることによって「蓄電社会」の像が見えてくる。しかし、その実現には、いくつかの課題も存在する。

電力用途については、現段階では、単純に経済性の議論だけで普及を図ろうとするのは難しい。ただ、非常用電源や業務用・家庭用の消費電力平準化電源としての用途が徐々に広がり始めており、第一に求められるのは、コストパフォーマンスと信頼性・安全性の向上だが、現在進行中の社会実証実験の中で、業界が主導して、限定的な形であっても、まずは、使いやすいところから、蓄電池の有用性を実証していくのが第一である。例えば、スマートコミュニティの EMS の中での蓄電池の利用方法とその効用を実証することなどが考えられる。

車載用途については、EV は、短期間で本格的に普及するのは難しいと結論される。しかし、HEV はすでに普及期に入っているので EV と HEV の中間的な位置づけの PHV も利用者にとっての利便性（充電の負担感）と経済性（車両コストと燃費低減）のバランスをとれば普及が加速されうる。

また、EV においても、高級志向のスポーツカーなどの限定用途では普及し始めている。蓄電池のコストパフォーマンスと安全性・信頼性の向上に加えて、メーカーが、自動車を分散電源ネットワークの一部として転用できるようなインターフェイスや制御技術を蓄電池システムに備えるなど新たな付加価値を探索すること、あるいは、自動車用電池を電力用途にリユースしてコストダウンを図るなどのビジネスモデルを進めていくことによって蓄電池の普及が加速する。

「蓄電社会」実現への道は、従来の発想からの経済原理に基づく考え方だけでは難しい面もある

が、政府や利用者が、人々の意識の変革をも含めた社会の仕組みや行動様式を変えていくことで電力貯蔵用電池や電動自動車を身近なものにしていくことが重要と考える。

一方、蓄電池を循環型社会の中で使いこなして行く際には、今後大量に発生してくる大型 LIB の廃棄物の存在は無視できず、リユース・リサイクルシステムの構築が重要となる。また、使用中及び使用後の電池の状態を正確に診断し、電池の安全性を確認しながら循環していく技術やシステム、蓄電池や用途商品の生産、販売、廃棄のグローバルなネットワークの中で原料から製品までのモノと情報の流れを総合的にコントロールしていく体制も構築していかなければならない。

注)

- (1) 日本は、エネルギー源の中心となっている化石燃料に乏しく、海外からの輸入に頼るという根本的な脆弱性を抱えている。[エネルギー基本計画 2014] p.6

2012年時点におけるエネルギー自給率は、6.0%まで落ち込み、国際的に見ても自給率の非常に低い脆弱なエネルギー供給構造となっている。[エネルギー基本計画 2014] p.8

- (2) 本論文では、駆動力の全部または一部に電動機（モーター）を使用する自動車を電動車両と称することにする。その中で電気のみを使用する自動車を電気自動車（EV）と呼ぶ。

- (3) ノート PC 用の円筒形電池18650タイプの必要本数に換算するとノート PC では6本に対し、EV（日産リーフ）では3,000本が必要になる。

- (4) 蓄電池をはじめとし、それに蓄電や放電（電気の貯蔵と消費）のコントロール装置や安全装置を加えたもの。

- (5) 宇沢によれば社会的共通資本は、自然資本だけでなく、道路、上・下水道、公共的な交通機関、電力、通信施設などのインフラストラクチャー、さらに制度資本も含むとしている。[宇沢 2015] p.47

- (6) クリーンエネルギーとは、生産や消費に際し、有害物質を排出しないエネルギー源をいう。その中で、自然エネルギーやバイオマスなど繰り返して再使用するものを再生可能エネルギーともいう。また、クリーンエネルギー自動車には、EV、HEV、FCV、クリーンディーゼル自動車、天然ガス自動車、LP ガス自動車などがある。[経済産業省、エネルギー白書、2013]

- (7) BP 統計2012年によれば、2011年の世界の一次エネルギー消費量（石油換算トン）をみると日本は4.8億トンで中国（26億トン）米国（22.7億トン）、ロシア（6.9億トン）、インド（5.6億トン）について世界第5位であった [経済産業省、エネルギー白書、2013]。

- (8) OECD/IEA, “World Energy Outlook 2014” によれば、世界の一次エネルギー需要は2012年に130.11億トン（石油換算）が、2035年170.55億トン（同左）と約1.3倍に増加するが増加分の90%は非 OECD 諸国が占める。

- (9) EV の発売当時の日産の予想では2011年度に5万台を販売する目標であったが、実際には2万台に終わった [経済産業省、蓄電池戦略]。p.9

- (10) 化学反応のエネルギーを電気に変換するものを化学電池、光エネルギーなどを物理的に電気に変換するものを物理電池という。前者の例は乾電池、蓄電池、燃料電池である。後者の例には太陽電池がある。太陽電池や燃料電池は、光や燃料の供給があれば、連続的な発電が可能である。これに対して蓄電池は電気を貯める蓄電機能を有するが、自らは、連続的には発電はできない。また、乾電池やボタン型の酸化銀電池、リチウム一次電池など放電し終えたら使えなくなる電池を一次電池という。

形状的には、小型のボタン型やコイン型電池、円筒型、角型（いずれも金属外装）および、パウチ型（ラミネートフィルム外装）の筒状電池、設置型の大型組電池、開放型と/密閉型、電解液を流動させるフロー型などがある。

- (11) 2009年に三菱自動車工業が「i-MiEV」、富士重工が「スバル プラグインステラ」（軽乗用車タイプ）を販売、2010年12月には日産自動車が5人乗りの普通・小型乗用車「リーフ」を発売した。

- (12) トヨタは1997年に量産型 HEV の「プリウス」を発表した [加治木、西尾 2008]。

- (13) 世界の HEV の販売台数は2006年には38万台となった。次世代自動車振興センターの報告では2011年度の HEV の国内保有台数は203万台、販売台数は65万台となった。
- (14) 電池反応を行う物質。LIB は正極にはリチウムのコバルト酸塩など、負極には炭素などを使用する。
- (15) 正極用集電体にはアルミ箔を、負極用集電体には銅箔を使用し、それぞれの上に活物質を塗工する。
- (16) ポリオレフィン系の微多孔膜からなるシート。正極と負極を隔離するとともに微多孔中の電解液を介してイオンの通路を形成する。
- (17) 金属缶（鉄やアルミニウム製）の深絞り成形品やフィルムパウチ（ラミネートフィルム）からなる。
- (18) たとえば、電子制御素子では真空管から半導体に、ディスプレイではブラウン管から液晶へとデバイスの原理自体のシフトが生じた。
- (19) たとえばモバイル機器の使用時間の延長化や通信速度向上、カメラや動画機能の搭載などがある。
- (20) 電池の用途が、小型電化機器（乾電池他の一次電池）・モバイル情報端末機器（高性能小型蓄電池）、エンジンスターター及び車内電源用（鉛蓄電池）などに限定されていたこと、「電気エネルギー」を「持ち運べる」、或いは「貯められる」という電池の効用を十分に活かしかねるだけの社会環境が整っていなかったこと、およびコスト・性能を含めた電池の技術面でのパフォーマンスが不足していたことなどによると考えられる。
- (21) CITI Research のデータでは全世界の民生用 LIB の売上高は2010年の7,690百万ドルに対し2011年が8,708百万ドルであり、年間伸び率は13.2%となる。
- (22) 導入コストベースで比較した場合、現状の揚水発電の約2.3万円/kWh に対し、NAS 電池で約4万円/kWh、LIB で約20万円/kWh と蓄電池の方が高い[経済産業省、「蓄電池戦略」2012], p.11
- (23) このうち、NaS 電池については研究グループ外の日本碍子と東京電力のチームが事業化した。現在系統用の電力貯蔵用電池の候補の一つとして実証運転が進行中である[福島 2009]。
- (24) 「分散型電池電力貯蔵技術開発」は平成4年度より平成13年度まで実施された NEDO のプロジェクトで「大容量かつ小型で経済性のある高能率未来型電池により、電力需要家において夜間電力を貯蔵（充電）し、昼間に放出（放電）し、負荷平準化に寄与する分散型電池電力貯蔵技術を開発する」ことを目的として、定置型及び移動体用の2種類の電池を開発した。
- (25) 上記のプロジェクトの成果評価報告[東レ経営研究所、2008]
- (26) 当時鉛電池の単価が10～20円/Wh であったのに対し、NaS 電池で30円/Wh、LIB では100円/Wh 前後と推定されていた。また、LIB の場合、当時は系統用に対応できる大容量の電池システムができていなかった。
- (27) 夜間と昼間の電力価格差でコストメリット追求という目的そのものにアピール力が不足していた。
- (28) ZEV の販売比率を一定以上にするカリフォルニア州環境局の規制で ZEV にはEV、PHV、FCV が該当する。
- (29) EV、PHV の本格普及に向けた実証実験のためのモデル事業で、自治体、地域企業等とも連携して導入、環境整備の確立を図り、日本全国への展開を目指す。2009年度、2010年度で18都府県が選定された。経済産業省ホームページ、<http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/town/about.html>, (2015年4月30日閲覧)
- (30) トヨタは2014年11月にセダンタイプの新型燃料電池自動車「MIRAI」を12月15日から販売することを発表した。トヨタ GLOBAL NEWSROOM, 2014年11月18日, <http://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/4197769> (2015年5月1日閲覧)
- (31) ①再生可能エネルギーの出力変動を蓄電池の充放電制御で抑制する出力安定化。発電量が需要量より大きい時間帯に余剰を吸収させる余剰吸収。需給バランスの調整のための瞬動予備力や、運転予備力として発電機の代替に電池を活用するなど。②大口需要家にとって電力料金契約によっては、電池導入によって電気料金低減をはかるメリットがある。③夜間の安価な電力を蓄え、昼間帯に放出して経済的な利益を生み出すことを目的に電力貯蔵システムを使用する。④工場などの電気関係の休転工事用や精密機械や半導体の製造プロセス、携帯電話の基地局、データセンタなど電源喪失が許されない設備用などでは非常電源装置として瞬低対策付きの蓄電池を導入する。また、オフィスビルなどの大口需要家は非常用電源の設置が義務付けられている。[内山 2008]
- (32) 2014年度の車名別新車販売（軽自動車を含む）ではトヨタ自動車の HEV「アクア」が3年連続で首位となった。日経新聞電子版2015年4月6日 http://www.nikkei.com/article/DGXLASFL06HFT_W5A400C

1000000/ (2015年 8 月 7 日閲覧)

- (33) HEV の電池容量は約 1 kWh で EV の15分の 1~20分の 1。従って、HEV の搭載電池は、現在は NiMH 電池が主である。
- (34) PHV は電気だけでの走行もあるので搭載電池の電池容量は 10 kWh 前後 (EV の 2 分の 1~3 分の 1)
- (35) 例えば、LIB の主要四部材 (正極、負極、電解液、セパレータ) には、いずれも複数の製品タイプがある [金村 2015]。電池メーカーがそれぞれの電池設計にもとづいて選択している。
- (36) 運輸安全委員会「航空重大インシデント調査報告書」2014年 9 月25日
- (37) 一定の温度以上になると対数的に抵抗が上昇する感温抵抗器のこと。
- (38) 自家用軽自動車の 4 年、普通・小型自動車の 6 年以内の買替えは補助金の返還を請求する。
- (39) 2011年度の LIB の回収個数は56 (東日本大震災によるものが主、2012年度は22個 (対前年減少) であった。これが、2015年度には約100個、2020年度には約1000個になると予想している。

参考文献

- 宇沢弘文,『宇沢弘文の経済学—社会的資本の論理』, 日本経済新聞出版社, 2015年
- 内山洋司編著,『エネルギーの貯蔵・輸送—電気・熱・化学』, NTS, 2008年
- 金村聖志編著,『ハイブリッド自動車用リチウムイオン電池』, 日刊工業新聞社, 2015年
- 鳶島真一,『次世代自動車用リチウムイオン電池の設計法』, 科学技術出版, (丸善出版発売) 2013年
- 加治木信哉, 西尾健一郎,「我が国における低公害自動車の開発・普及の歴史的的分析—その促進要因と阻害要因」
電力中央研究所報告 Y07019, 2008年
- 土屋依子, 田頭直人, 馬場健司「我が国における電気自動車普及政策の変遷と市場動向」電力中央研究所報告
Y09015, 2010年
- 福島英史,「政府主導技術開発プロジェクトの代替物—電力貯蔵用電池の開発」,『経営志林』第45巻 4 号,
2009年 1 月, pp.45-65
- 経済産業省,「2013年度エネルギー白書」
- 経済産業省蓄電池戦略プロジェクトチーム,「蓄電池戦略」, 2012年 7 月, 総合資源エネルギー調査会基本問題
委員会第28回会合, 参考資料 2-2
- 一般社団法人次世代自動車振興センター, 平成23年度「リチウムイオン電池リサイクルに関する調査」委託先
株式会社矢野経済研究所, 平成24年 3 月委託
- 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO),「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ2013
(Battery RM2013)」2013年 8 月
- 株式会社東レ経営研究所, 平成19年度技術評価調査「分散型電池電力貯蔵技術開発プロジェクトの追跡評価の
ための調査」調査概要—改訂版—, 第 2 回分散型電力貯蔵技術開発プロジェクト追跡評価 WG 資料 4, 2008
年 3 月
- 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会,「エネルギー基本計画」2014年 6 月
- 大西孝宏, 富岡修,「特集 遅れてきた節電の切り札 蓄電社会の幕開け」, 日経エコロジー, 2014年11月